

## CHAPTER 6

### CONCLUSION AND SUGGESTION

#### 6.1. Conclusion

Based on the analysis carried out in chapter 5, there are several points of conclusion, i.e.:

1. The biggest rapid-prototyped Borobudur stupa master mold dimension is 170 x 110 x 35 mm.

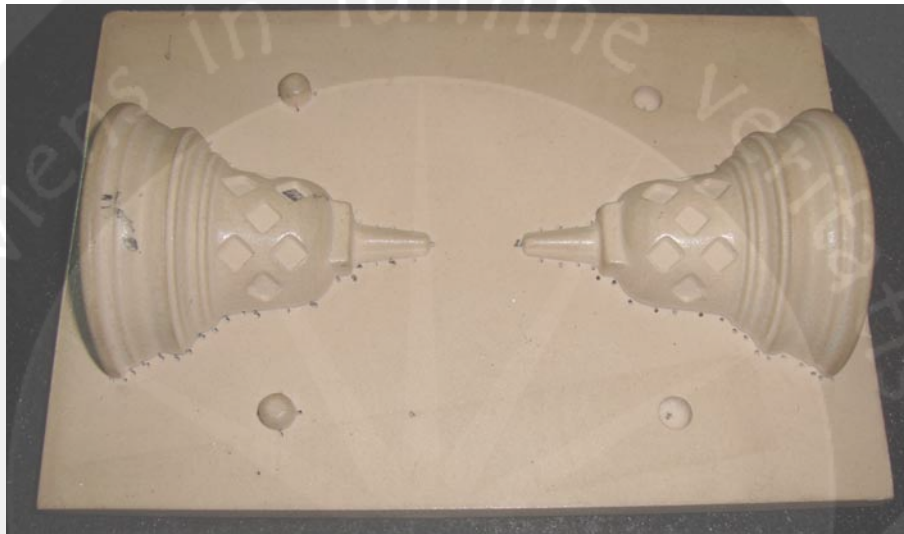


Figure 6.1 Final Rapid-Prototyped Borobudur Stupa Master Mold

2. The biggest Borobudur stupa chocolate mold is as shown on figure 6.2.



Figure 6.2 Final Borobudur Stupa Chocolate Mold

3. Total Rapid Prototyping cost is Rp 1,273,700.00. The detail of Rapid Prototyping cost is provided in table 6.1.

Table 6.1 Rapid Prototyping Cost

| Cost Components         | Cost                   |
|-------------------------|------------------------|
| Design Cost (DC)        | Rp 618,750.00          |
| Mastering Cost (MC)     | Rp 446,786.67          |
| Thermoforming Cost (TC) | Rp 41,966.72           |
| Overhead Cost (OC) 15%  | Rp 166,125.50          |
| Total RP Cost           | <b>Rp 1,273,628.89</b> |

## 6.2. Suggestion

This research has successfully rapid prototyped Borobudur stupa master mold and created chocolate mold. But, there is a major weakness, i.e. in this research it is found that the master mold, made from Ebalta, easily bends. It is because Ebalta is only suitable for prototyping purposes only and not for the mass production.

Therefore, it is better to find another material which can be processed by Roland MDX-40 and also can be thermoformed in order to maintain the master mold manufacturability. Therefore, the next research can be conducted to find a better material which can replace Ebalta function.

## REFERENCES

\_\_\_\_\_, 2007, *Delcam PowerMill 8.0 Training Modul*,  
Birmingham: Delcam, Plc.

\_\_\_\_\_, 2008, *Delcam PowerShape 8.2.14 Training Modul*,  
Birmingham: Delcam, Plc.

Anggoro, P Wisnu., Hanandoko, Theodorus B., 2003,  
*Diktat Kuliah Proses Produksi 1*, Yogyakarta: FTI  
UAJY

Burphy, Mark., 2002, *Rapid Prototyping, CAD/CAM and  
Human Factors*, Elsevier Journal of Automation in  
Construction, Vol. 11, page 313-333

Cooper, Kenneth G., 2001, *Rapid Prototyping Technology:  
Selection and Application*, New York: Marcel  
Dekker, Inc.

Degussa, 2001, *Extrusion and Thermoforming Of Polymer  
and Cyrolite*, Cyro Industries, USA

Ferreira, Jose Carvalho., 2006, *Integration of  
VP/RP/RT/RE/RM for Rapid Product and Process  
Development*, Rapid Prototyping Journal, Vol.12,  
No.1, page 18

Groover, Mikel P., 1996, *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems*, Prentice-Hall International Edition, USA

Gruenwald, G., 1998, *Thermoforming; A Plastics Processing Guide*, Second Edition, New Holand: Technomic Publishing Company

Incropera, Frank P., 2007, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, John Wiley and Son, USA

Koc, Bahattin., Lee, Yuan-Shin., 2002, *Adaptive Ruled Layers Approximation of STL Models and Multiaxis Machining Applications for Rapid Prototyping*, SME Journal of Manufacturing Systems, Vol.21 No.3

Liou, Frank W., 2008, *Rapid Prototyping and Engineering Applications*, Florida: Taylor and Francis Group

Mujiarto, Iman, 2005, *Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif*, Semarang: AMNI

Nugraha, Bayu Purwa., 2009, *Mesin Thermoforming untuk Cetakan Cokelat*. A Thesis in Industrial Engineering Program, Faculty of Industrial Technology, Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Pratt, M.J., Bhatt, A.D., Dutta, D., Lyons, K.W., Patil, L., Sriram, R.D., 2002, *Progress Towards an International Standard for Data Transfer in Rapid Prototyping and Layered Manufacturing*, Journal of Computer-Aided Design, Vol.34, page 1111-1121

Ullman, David G., 1997, *The Mechanical Design Process*, 2<sup>nd</sup> ed., Singapore: McGraw-Hill Book Co

Sokovic, M., Kopac, J., 2006, *RE (Reverse Engineering) as Necessary Phase by Rapid Product Development*, Elsevier Journal of Materials Processing Technology, Vol. 175, page 398-403

Yean, Chow Kin., Kai, Chua Chee., and Feng Lin., 1998, *Creating Machinable Textures for CAD/CAM Systems*, Springer-Verlag International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.14, page 269-279

Yean, Chow Kin., Kai, Chua Chee., Ong, Terry., and Feng, Lin., *Checking for Machinability on Surface Patches*, Springer-Verlag International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.14, page 806-814

[http://en.wikipedia.org/wiki/Computer\\_aided\\_manufacturing](http://en.wikipedia.org/wiki/Computer_aided_manufacturing),  
accessed on October 3, 2010 at 09:00 am

[http://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided\\_manufacturing](http://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_manufacturing),  
accessed on October 3, 2010 at 09:05 am

<http://en.wikipedia.org/wiki/Plastic>, accessed on  
October 4, 2010 at 07:30 pm

[http://en.wikipedia.org/wiki/High\\_impact\\_polystyrene](http://en.wikipedia.org/wiki/High_impact_polystyrene),  
accessed on October 4, 2010 at 07:40 pm

[http://en.wikipedia.org/wiki/Acrylonitrile\\_butadiene\\_styrene](http://en.wikipedia.org/wiki/Acrylonitrile_butadiene_styrene)  
, accessed on October 4, 2010 at 07:40 pm

[http://en.wikipedia.org/wiki/Polyethylene\\_terephthalate](http://en.wikipedia.org/wiki/Polyethylene_terephthalate),  
accessed on October 4, 2010 at 07:41 pm

<http://en.wikipedia.org/wiki/Polyester>, accessed on  
October 4, 2010 at 07:42 pm

<http://en.wikipedia.org/wiki/Polyurethanes>, accessed on  
October 4, 2010 at 07:45 pm

<http://en.wikipedia.org/wiki/Polytetrafluoroethylene>,  
accessed on October 4, 2010 at 07:45 pm

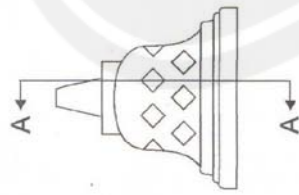
<http://en.wikipedia.org/wiki/Polystyrene>, accessed on  
October 4, 2010 at 07:50 pm

[http://en.wikipedia.org/wiki/Polyvinyl\\_chloride](http://en.wikipedia.org/wiki/Polyvinyl_chloride),  
accessed on October 4, 2010 at 07:52 pm

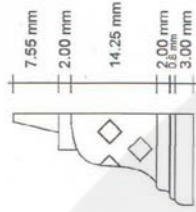
<http://en.wikipedia.org/wiki/Polypropylene>, accessed on  
October 4, 2010 at 07:52 pm



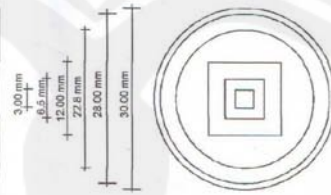
## **APPENDIX 1**



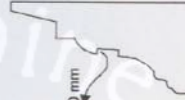
Front Elevation



Side Elevation



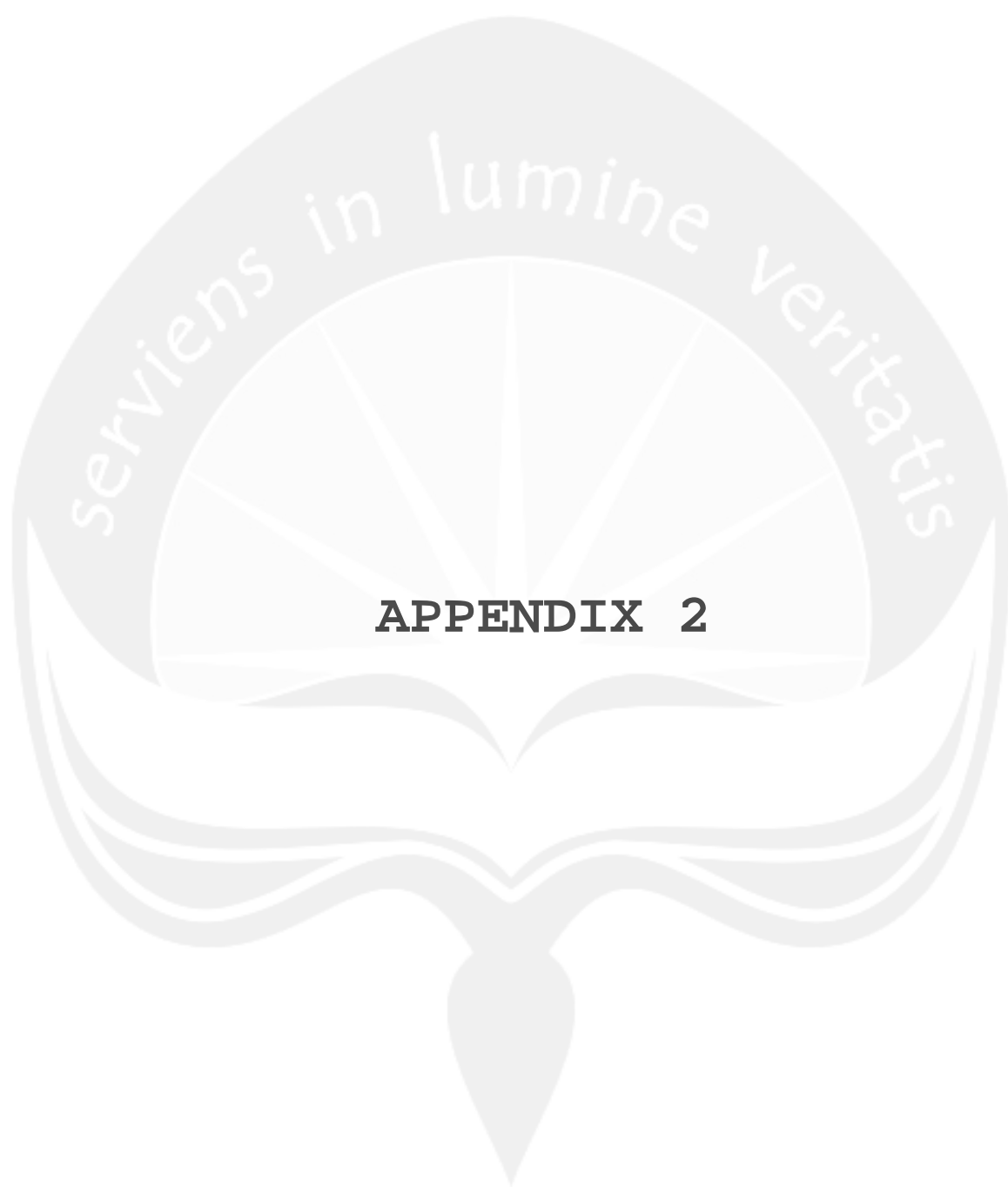
Layout



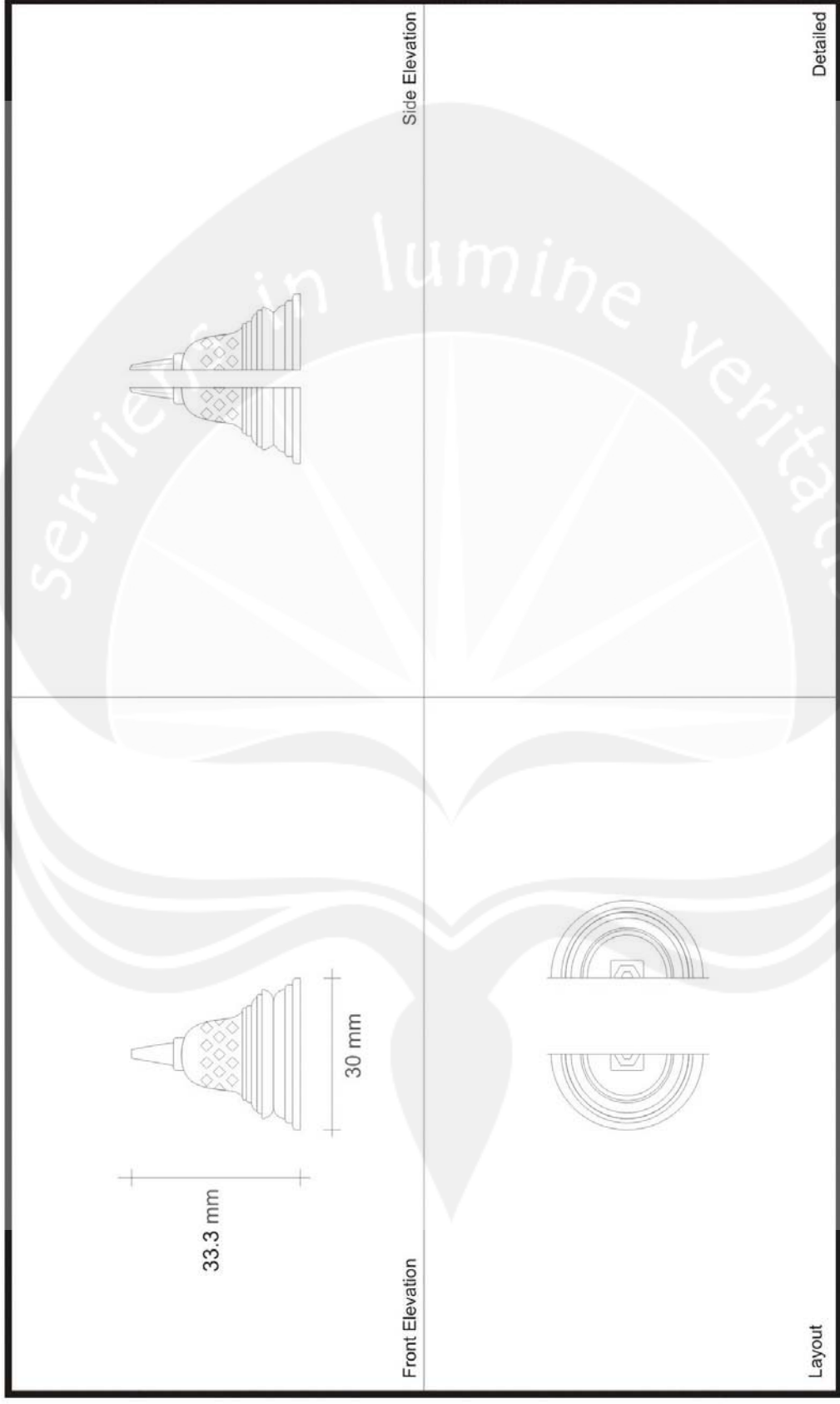
Section A-A

Depth: 1.00 mm





## **APPENDIX 2**



Side Elevation

Front Elevation

Detailed

Layout

Chocolate  
Monggo®

Stupa Borobudur

# RAPID PROTOTYPING CETAKAN COKLAT BERBENTUK STUPA BOROBUDUR

**Pandu Damardjati<sup>1</sup>, Theodorus B. Hanandoko<sup>2</sup>**

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Jl. Babarsari 43 Yogyakarta 55281

Email : <sup>1</sup>[pandudamardjati@gmail.com](mailto:pandudamardjati@gmail.com), <sup>2</sup>[hanandoko@mail.uajy.ac.id](mailto:hanandoko@mail.uajy.ac.id)

---

## **Abstract**

*Rapid Prototyping (RP) is the physical modeling of a design using a special class of machine technology. The advantages of RP include the fact that objects to a manageable, straightforward, and relatively fast process. CV. Anugerah Mulia, the owner of Chocolate Monggo brand, wants to develop a Borobudur stupa, chocolate mold. Utilizing CAD/CAE/CAM solution from Delcam and Roland Modela MDX-40, the CNC prototyping machine, Universitas Atma Jaya Yogyakarta (UAJY) is able to create a high quality of detail and complex contour of Borobudur Stupa. The RP process in this research is initiated by 2D drawing from CV Anugerah Mulia, Chocolate Monggo's firm. Because the fix dimension is not determined yet, there are steps to determine machinable dimension. After the dimesion is determined, the 2D drawing is then traced and built up to 3D drawing in Delcam PowerShape until a master mold CAD model is ready. The master mold CAD model is analyzed and verified to check its machinability. After being verified, the CAM data is then prepared in Delcam PowerMill. The outputs of the CAM data preparation are machine simulation, NC codes, and estimation of machining time. These outputs facilitates user (UAJY) to estimate the Rapid Prototyping cost. Therefore, CV Anugerah Mulia, as the customer, is able to make a decision whether to continue or to stop the process based on the cost quoted and the CAD model. By the end of the research, a rapid-prototyped master mold with dimension 170 x 110 x 35 mm and a chocolate mold are obtained. The Rapid Prototyping cost becomes Rp 1,273,700.00.*

*Keywords: Rapid Prototyping, CAD/CAE/CAM, Machinability, Chocolate Mold, RP Cost estimation.*

---

## **1. Pendahuluan**

Sejak tahun 2006, Universitas Atma Jaya Yogyakarta (UAJY), bekerjasama dengan PT. Delcam Indonesia, memiliki beberapa *license* untuk Delcam CAD/CAM Solution, seperti PowerShape, PowerMill, ArtCAM, FeatureCAM dan CopyCAD. Keberadaan solusi CAD/CAM ini, ditambah dengan keberadaan mesin CNC prototyping Roland MDX-40, membuat UAJY mampu membuat produk dengan profil yang memiliki tingkat kompleksitas dan kerumitan tinggi. Dimulai tahun 2009, UAJY memperkenalkan solusi CAD/CAM ini untuk pembuatan cetakan coklat dengan bantuan mesin thermoforming.

CV Anugerah Mulia, pemilik merk *Chocolate Monggo*, ingin membuat sebuah cetakan coklat 2 tangkup berbentuk stupa Borobudur dengan ukuran maksimum yang dapat dibuat di mesin CNC prototyping Roland MDX-40. Selain itu, mereka juga ingin mengetahui biaya pembuatan cetakan coklat tersebut.

Permasalahan ini dapat diselesaikan dengan mudah memakai pendekatan *Rapid Prototyping* karena sebagaimana dijelaskan oleh *Frank W. Liou*, keuntungan penggunaan *Rapid Prototyping* adalah kenyataan bahwa objek yang dikerjakan menjadi lebih terencana, mudah dan dapat diselesaikan dengan relatif cepat.

Oleh karena itu, penelitian ini akan membahas bagaimana proses *Rapid Prototyping* pembuatan cetakan coklat berbentuk stupa Borobudur dengan ukuran maksimum yang dapat diproses oleh mesin Roland MDX-40 dan sesuai dengan kebutuhan CV Anugerah Mulia.

## **2. Tinjauan Pustaka**

### **2.1. Proses-proses Utama yang dibutuhkan untuk *Rapid Prototyping***

Ideologi desain tradisional membutuhkan suatu *prototype* fisik untuk menguji dan mengevaluasi sebuah konsep desain. Berkaitan dengan prosesnya, proses desain dan analisis ini menjadi sangat menghabiskan waktu dan mahal. Oleh karena itu, sebuah pendekatan desain produk tradisional seringkali menyebabkan waktu pengembangan produk yang sangat lama. Saat ini, teknologi baru yang melibatkan *rapid* dan *virtual prototyping* merevolusi cara suatu produk didesain.

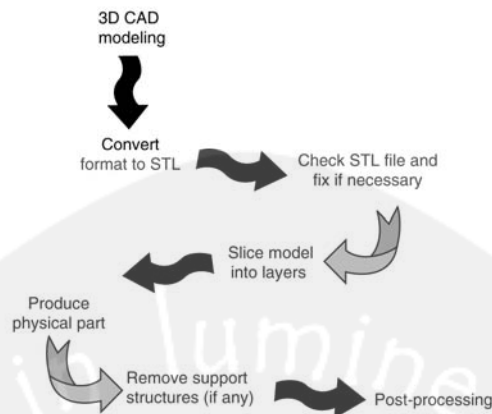
*Virtual Prototyping* mengintegrasikan teknologi digital seperti *Computer-Aided Design* (CAD), *Computer-Aided Engineering* (CAE), dan *Computer-Aided Manufacturing* (CAM), ke dalam satu tampilan visual untuk ditampilkan dan dianalisis. Teknologi ini menawarkan fleksibilitas dan biaya integrasi data yang efisien dan sebuah pendekatan teknik yang lebih tepat. Sementara itu, *Rapid Prototyping* dapat membuat suatu *prototype* fisik (*physical prototype*) secara cepat berdasarkan *virtual prototypes*. Oleh karena itu teknologi ini menjadi sangat efektif untuk mempercepat proses pengembangan produk. Teknologi ini dapat meningkatkan kemampuan visualisasi selama fase awal desain dengan menggunakan model fisik yang dibuat secara cepat.

Dua teknologi baru ini sangat membantu sebelum sebuah produk masuk ke pasar, sebagai contoh, dengan menekan halangan teknologi. Selain itu, teknologi-teknologi ini dapat meningkatkan pangsa pasar, sebagai contoh, dengan mempersingkat waktu untuk mengeksplorasi lebih banyak desain yang lebih inovatif yang akan dihargai oleh *customer*. Lebih jauh lagi, teknologi-teknologi tersebut dapat mengubah cara berkompetisi, dengan menawarkan produk yang *customized* kepada *customer* tanpa ada penalti waktu dan harga. Teknologi baru ini juga dapat mengurangi kesalahan. Jika kesalahan-kesalahan dapat diidentifikasi sebelum kesepakatan dibuat, maka biaya untuk memodifikasi suatu alat akan lebih mudah diantisipasi. Secara keseluruhan, ongkos dapat direduksi dan jumlah pekerja yang dilibatkan untuk membuat suatu model dan alat maupun model fisik, dapat ditekan.

### **2.2. Alur Dasar Proses *Rapid Prototyping***

Ada beragam *Rapid Prototyping* proses, tetapi prinsip-prinsip operasi dasar sangatlah mirip. Gambar 1 menunjukkan diagram alur proses dasar RP, yaitu:

1. Membuat model CAD
2. Mengubah model CAD ke dalam format STL
3. Mengecek dan membetulkan file STL
4. Membuat struktur pendukung jika diperlukan
5. Mengiris file STL untuk membentuk layer-layer
6. Membuat model fisik
7. Membuang struktur pendukung
8. Proses pasca permesinan



Gambar 1 Diagram Alur Proses Dasar *Rapid Prototyping*

### 2.3. Alternatif Proses *Rapid Prototyping*

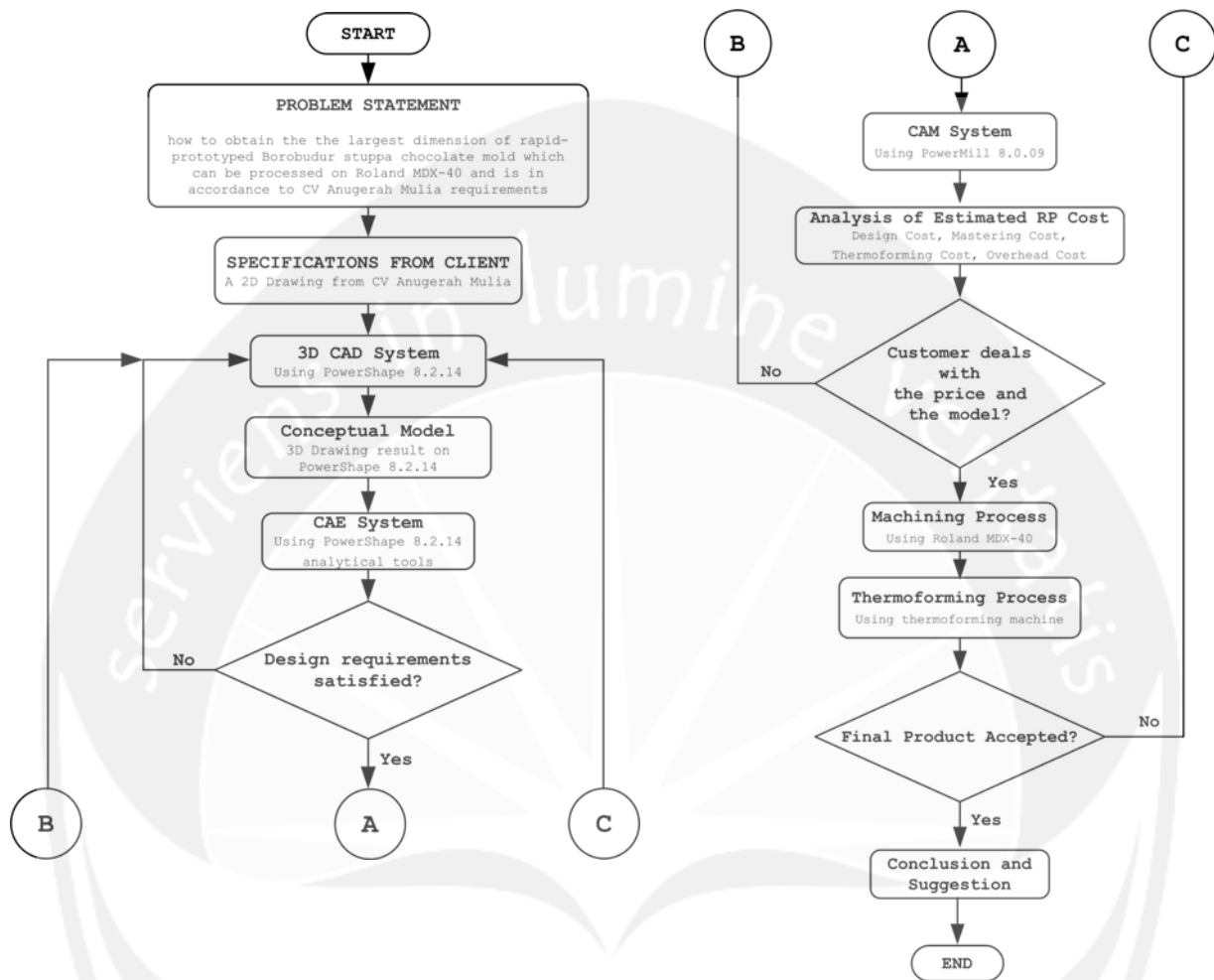
Ada 3 macam metode dasar untuk membuat suatu produk, yaitu *subtractive* (pengurangan), *additive* (penambahan), dan *formative* (pembentukan). Meskipun kebanyakan proses RP yang ada pada saat ini adalah proses *additive* (penambahan), hal ini tidak membatasi proses RP hanya pada proses *additive*. RP process masa depan bisa jadi merupakan satu proses atau kombinasi dari beberapa proses. Secara umum, proses permesinan dengan mesin CNC dapat dipertimbangkan sebagai proses RP. Suatu mesin CNC tidak dipertimbangkan sebagai teknologi RP karena alasan-alasan berikut:

1. Masih membutuhkan campur tangan seorang yang terampil dalam prosesnya
2. Alat bantu maupun keberadaan alat-alat khusus seringkali masih dibutuhkan
3. Terbatas pada bentuk geometris

Meskipun sulit, dengan keberadaan solusi CAD yang cerdas, masalah perencanaan produksi, pemilihan alat dan alat bantu serta setting mesin dapat dilakukan secara otomatis. Dengan demikian, proses ini dapat diotomasi dan oleh karena dapat digunakan untuk penerapan RP. Keuntungan penggunaan CNC adalah hampir tiadanya batasan material, kontrol dimensi yang menakjubkan dan permukaan akhir yang halus. Kelemahan utamanya adalah akses *cutting tool* yang terbatas pada geometri.

(Sumber: Liou, Frank W. 2008)

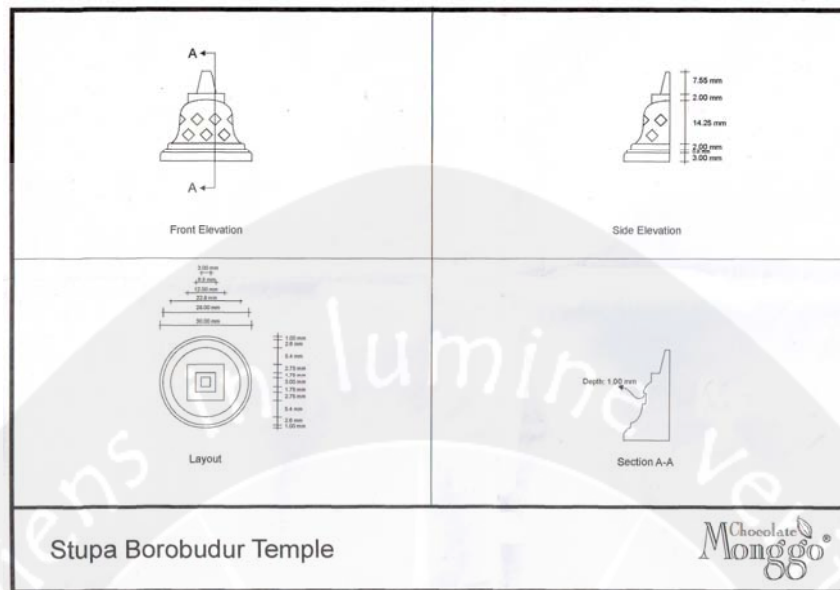
### 3. Metode Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Metode Penelitian

### 4. Hasil Penelitian dan Pembahasan

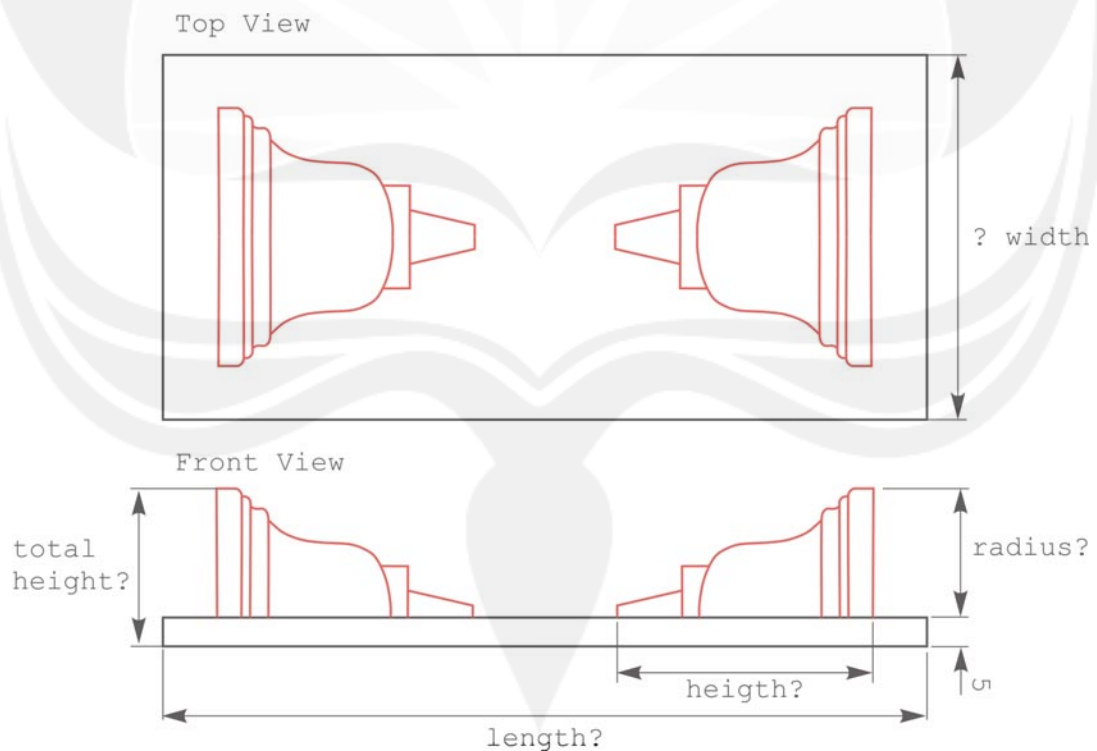
Sebagaimana disebutkan sebelumnya, CV Anugerah Mulia belum memberi ukuran pasti dari bentuk stupa yang akan dibuat karena mereka ingin supaya memaksimalkan ukuran yang dapat diproses oleh mesin Roland MDX-40. Oleh karena itu, dalam untuk menyelesaikan masalah ini diperlukan suatu tahap estimasi ukuran stupa yang akan dibuat. Gambar 3 menunjukkan gambar yang diberikan oleh CV Anugerah Mulia.



Gambar 3. Gambar 2D dari CV Anugerah Mulia

#### 4.1. Estimasi Ukuran Model

Diperkirakan master cetakan yang akan dibuat terdiri dari 2 stupa separuh. Gambar 3 menunjukkan perkiraan tata letak master cetakan yang akan dibuat.



Gambar 4. Perkiraan Tata Letak Master Cetakan

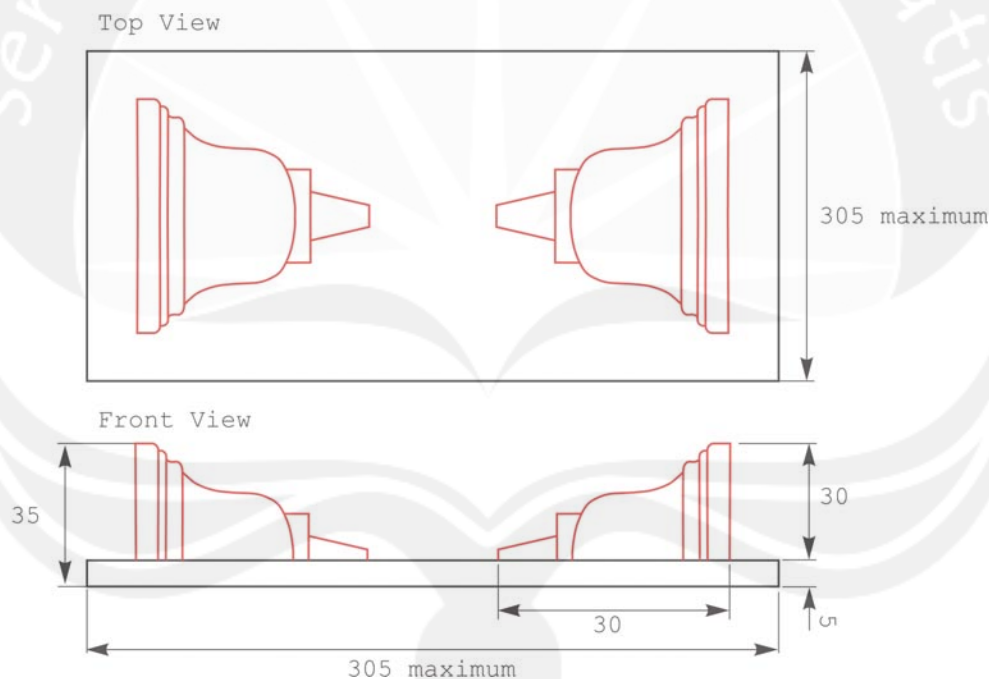
Pada tahap estimasi ini, diketahui bahwa area permesinan Roland MDX-40 adalah 305 mm pada sumbu X dan Y dan 105 mm pada sumbu Z. Karena sumbu Z merupakan sumbu yang paling kecil nilainya, maka sumbu Z menjadi referensi sekaligus titik kritis yang harus dipertimbangkan.

Material yang tersedia sebagai master cetakan adalah Necuron 480 atau biasa disebut Ebalta. Dimensi mentah material ini adalah panjang 1500 mm, lebar 500 mm dan tebal 50 mm. Mengacu pada tebal maksimum material, maka tinggi total master cetakan adalah 50 mm. Tinggi 50 mm tersebut sudah termasuk tebal dasar cetakan 5 mm. Jadi diperkirakan radius model stupa yang akan dibuat adalah 45 mm.

Dengan radius 45 mm, *cutting tool* yang paling memungkinkan, terutama untuk proses *Roughing* adalah End Mill 6 mm dengan panjang mata pahat 60 mm. Namun, pemilihan *cutting tool* ini menimbulkan masalah karena jika panjang mata pahat (60 mm) ditambahkan dengan tebal material (50 mm) akan melebihi area permesinan mesin Roland MDX-40. Oleh karena itu, perlu dibuat perhitungan ulang berawal dari panjang mata pahat ini.

Panjang mata pahat adalah 60 mm. Jika tinggi maksimum area permesinan (105 mm) dikurangi dengan panjang mata pahat (60 mm), maka didapatkan ketebalan material yang mungkin adalah 45 mm. Diasumsikan, dibutuhkan proses perataan material setebal 2 mm, ruang sebesar 2 mm untuk perpindahan *cutting tool* selama proses permesinan dan 5 mm untuk ketebalan dasar cetakan, maka radius model stupa yang akan dibuat menjadi 36 mm. Demi alasan keamanan, maka lebih baik radius model stupa dibuat menjadi 30 mm.

Gambar 5 menunjukkan hasil akhir estimasi model stupa yang akan dibuat.



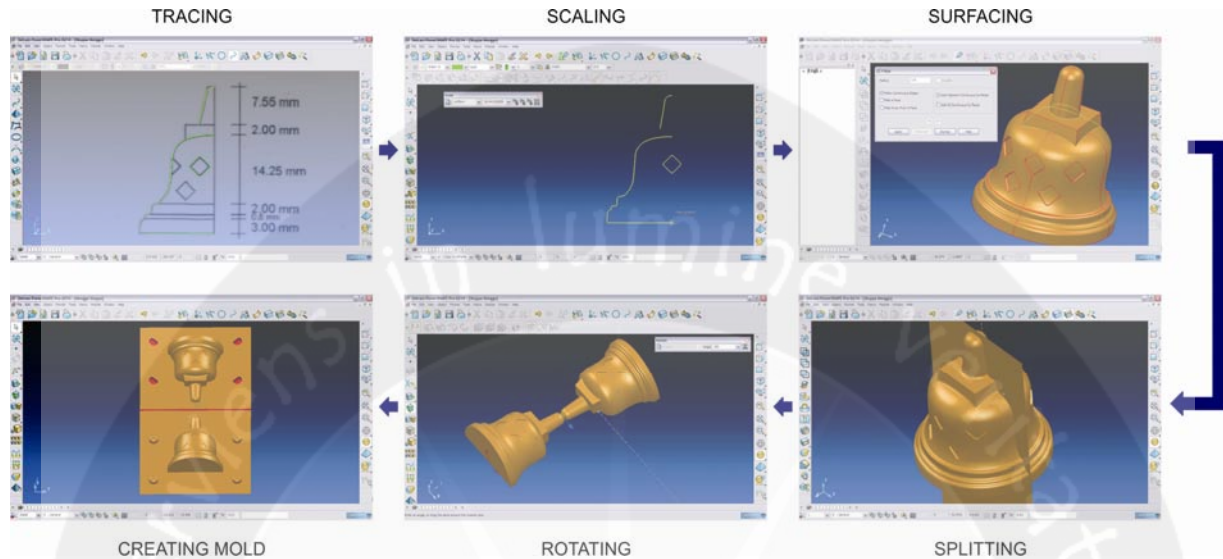
Gambar 5. Perkiraan Akhir Model Stupa

#### 4.2. Pembuatan CAD Model Master Cetakan

Pembuatan CAD Model Master Cetakan ini menggunakan Delcam PowerShape 8.2.14. Untuk menjaga bentuk dari stupa yang diminta oleh CV Anugerah Mulia, maka diperlukan proses *tracing* dari gambar 2D menggunakan fasilitas *Stencil* yang tersedia pada PowerShape 8.2.14.

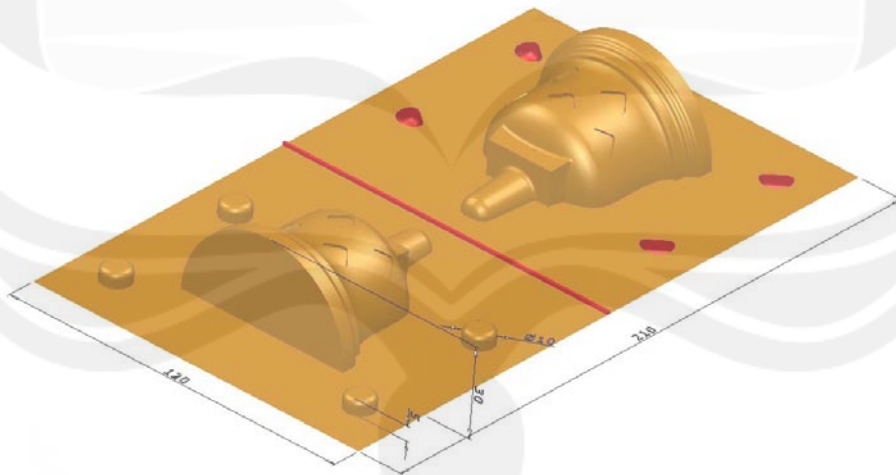


Ada 6 langkah penting dalam proses pembuatan CAD model master cetakan, meliputi *Tracing*, *Scaling*, *Surfacing*, *Splitting*, *Rotating* dan *Creating Mold*. Gambar 6 menunjukkan keenam langkah penting tersebut.



Gambar 6. 6 Langkah Pembuatan CAD Model

Hasil akhir dari pembuatan CAD model ini adalah CAD model master cetakan. Gambar 7 menunjukkan CAD model dari master cetakan.

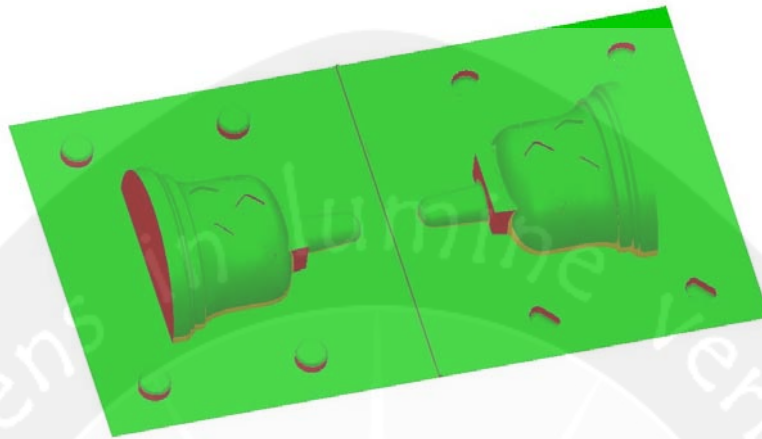


Gambar 7. CAD Model Master Cetakan

#### 4.3. Verifikasi Model Menggunakan PowerShape 8.2.14 Analytical Tool (CAE)

Setelah CAD model selesai dibuat, tahap berikutnya adalah memverifikasi CAD model sebelum dibawa pada proses CAM. Ada 3 tahap verifikasi yang dilakukan, yaitu: menganalisa *undercuts*, menganalisa kehalusan permukaan model (*surface smoothness*), dan menganalisa radius minimum (*minimum radius*).

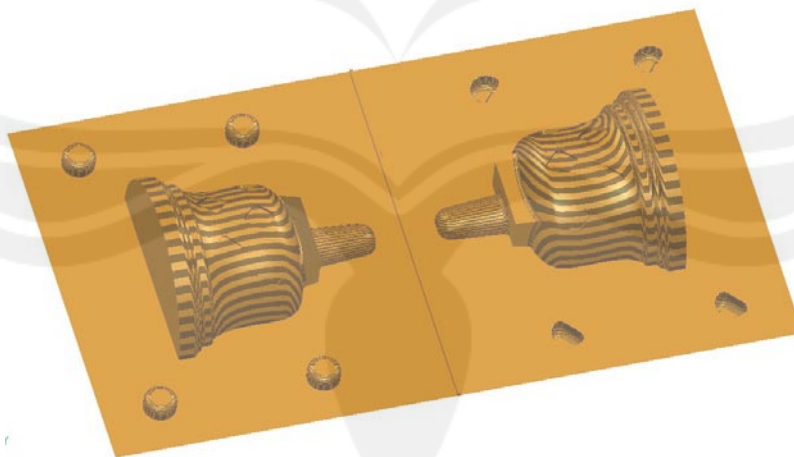
Tahap pertama, analisa *undercuts*, ditujukan untuk memastikan bahwa model yang dibuat dapat diproses oleh mesin CNC 3-axis. Oleh karena itu, tidak boleh ada *undercuts* pada model. Gambar 8 menunjukkan tampilan analisa *undercuts*.



Gambar 8. Analisa *Undercuts*

Pada tampilan ada 3 warna, yaitu hijau, kuning dan merah. Warna hijau menunjukkan profil yang landai dan profil ini dapat diproses dengan mudah. Warna kuning menunjukkan profil yang curam namun tetap dapat diproses dengan strategi permesinan tertentu. Warna merah bisa menunjukkan *undercuts* maupun profil yang tegak lurus. Namun, dalam model warna merah yang dihasilkan agak kekuningan. Hal ini menandakan profil ini adalah profil yang tegak lurus. Dengan demikian tidak ada *undercuts* dan model ini dapat diproses oleh mesin CNC 3-axis dengan pemilihan strategi permesinan tertentu.

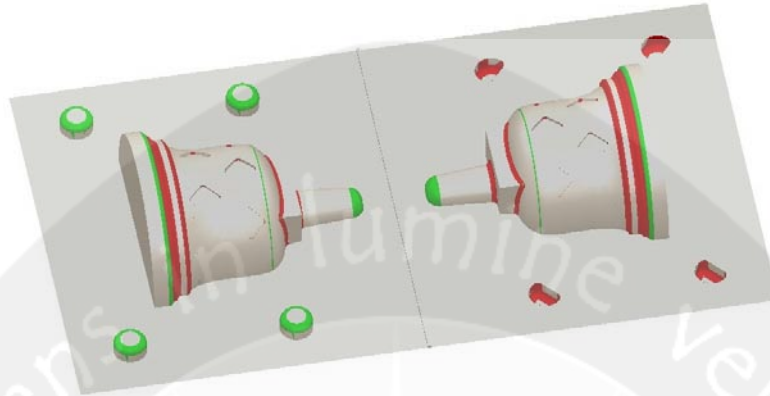
Tahap verifikasi kedua adalah analisa kehalusan permukaan model. Tahap ini diperlukan untuk memastikan bahwa permukaan model yang dibuat benar-benar sudah halus. Gambar 9 menunjukkan tampilan analisa kehalusan permukaan (*surface smoothness*).



Gambar 9. Analisa Kehalusan Permukaan (*Surface Smoothness*)

Dari hasil analisa, ditunjukkan bahwa tidak ada surface yang patah. Oleh karena itu, dapat dipastikan bahwa model yang dibuat sudah cukup halus.

Tahap verifikasi terakhir adalah analisa radius minimum. Tahap ini diperlukan untuk mengetahui radius minimum dari model yang dibuat serta memastikan bahwa radius tersebut benar dapat diproses menggunakan *cutting tools* yang tersedia. Gambar 10 menunjukkan hasil analisa radius minimum.



Gambar 10. Analisa Radius Minimum

Hasil analisa radius minimum menunjukkan bahwa radius minimum model adalah 1,5 mm. Dengan demikian, radius ini dapat diproses menggunakan *cutter* Ball Nose 3 mm.

Ketiga tahap verifikasi memastikan bahwa tidak ada masalah dengan model sehingga model dapat dibawa ke tahap selanjutnya, yaitu pembuatan data CAM.

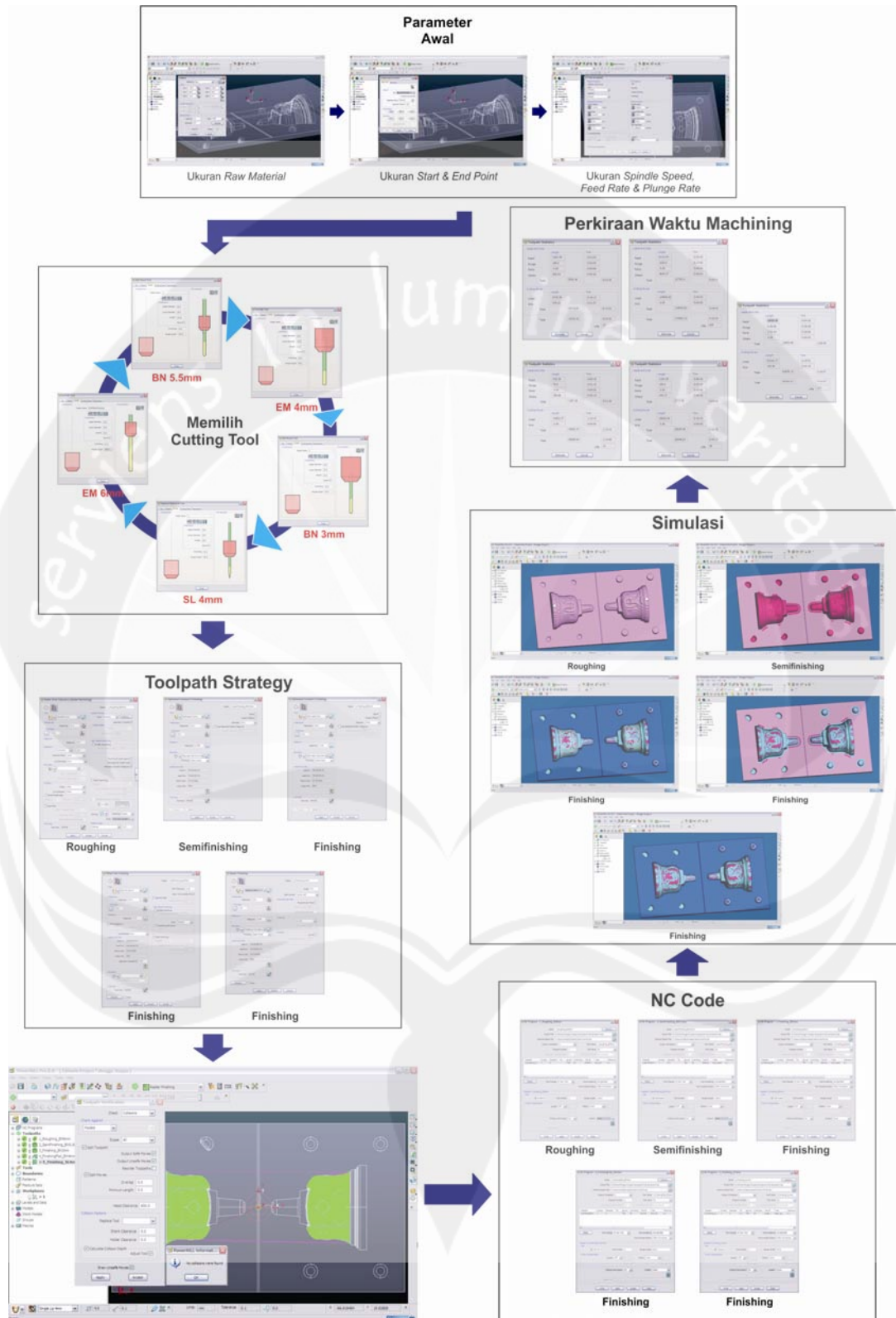
#### 4.4. Pembuatan Data CAM

Pembuatan data CAM merupakan tahap perencanaan proses (*process planning*) untuk permesinan. Output tahap ini adalah *NC Code* untuk menjalankan mesin Roland MDX-40. Selain itu, output lain yang diharapkan dari tahap ini adalah mengetahui ukuran *raw material* yang harus disiapkan serta perkiraan lama proses permesinan.

Tahap perencanaan ini meliputi:

1. Menentukan Parameter Awal, meliputi:
  - a. Menentukan ukuran *Raw Material*
  - b. Menentukan *Start & End Point*
  - c. Menentukan *Spindle Speed*, *Feed Rate* dan *Plunge Rate*
2. Menentukan *Cutting Tools* yang akan digunakan, meliputi:
  - a. End Mill 6 mm
  - b. Ball Nose 5.5 mm
  - c. Ball Nose 3 mm
  - d. Single Lip 4 mm
  - e. End Mill 4 mm
3. Menentukan strategi permesinan (*Toolpath Strategy*) untuk setiap *cutting tool* yang digunakan.
4. Mem-verifikasi strategi permesinan untuk memastikan tidak *collision* antar *shank* maupun *holder* terhadap objek.
5. Memperkirakan lama waktu permesinan
6. Membuat *NC Code*

Gambar 11 menunjukkan tahap-tahap yang dilalui untuk perencanaan proses permesinan menggunakan PowerMill 8.0.09.



Gambar 11. Pembuatan Data CAM

#### 4.5. Analisa Biaya Rapid Prototyping

Biaya RP terdiri dari 4 komponen, yaitu: biaya desain (*Design Cost*), biaya pembuatan master cetakan (*Mastering Cost*), biaya thermoforming (*Thermoforming Cost*) dan biaya overhead (*Overhead Cost*)

**a. Design Cost (DC)**

Lama pembuatan desain dan perencanaan proses (CAD/CAM) adalah 10,5 jam. Oleh karena itu, biaya desain dihitung sebagai berikut:

$$10,5 \text{ jam} \times \text{Rp } 55.000/\text{jam} = \text{Rp } 577.500,00$$

**b. Mastering Cost (MC)**

Ukuran material untuk pembuatan master cetakan adalah 210 x 120 x 50 mm. Oleh karena itu, perhitungan biaya material adalah sebagai berikut:

$$\frac{(210 \times 120 \times 50) \text{ mm}^3 \times \text{Rp } 3.200.000}{(1500 \times 500 \times 50) \text{ mm}^3} = \text{Rp } 107.520,00$$

Dari hasil pembuatan CAM Data, perkiraan total waktu permesinan adalah 9,99 jam. Oleh karena itu, biaya permesinan diperkirakan sebesar:

$$9,99 \text{ jam} \times \text{Rp } 45.000/\text{jam} = \text{Rp } 449.550,00$$

Total biaya pembuatan master diperkirakan sebesar:

$$\text{Rp } 107.520 + \text{Rp } 449.550 = \text{Rp } 557.070,00$$

**c. Thermoforming Cost (TC)**

Dimensi lembaran plastic PVC yang dibutuhkan adalah 420 x 297 x 0.5 mm. Dibutuhkan 5 lembar dengan ukuran yang sama untuk proses thermoforming. Oleh karena itu, biaya material untuk proses thermoforming adalah sebesar:

$$5 \times \frac{(420 \times 297 \times 0,5) \text{ mm}^3 \times \text{Rp } 25.600}{(1000 \times 1000 \times 0,5) \text{ mm}^3} = \text{Rp } 15.966,72$$

Diperkirakan proses thermoforming membutuhkan waktu selama 2 jam. Oleh karena itu, biaya thermoforming menjadi:

$$2 \times (\text{Rp } 7.500 + \text{Rp } 5.500) = \text{Rp } 26.000,00$$

Oleh karena itu, biaya thermoforming menjadi:

$$\text{Rp } 15.966,72 + \text{Rp } 26.000,00 = \text{Rp } 41.966,72$$

**d. Overhead Cost (OC)**

Biaya overhead dihitung sebesar 15% dari total biaya di atas. Oleh karena itu biaya overhead menjadi:

$$15\% \times (\text{Rp } 577.500 + \text{Rp } 557.070 + \text{Rp } 41.966,72) = \text{Rp } 176.480,50$$



#### e. Perkiraan Total Biaya Rapid Prototyping

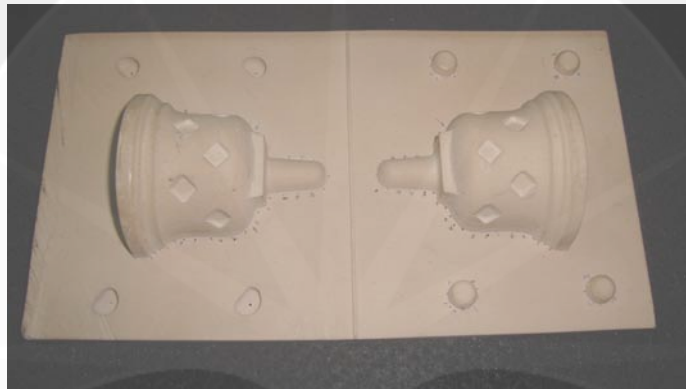
Tabel 1 Perkiraan Total Biaya Rapid Prototyping

| Komponen Biaya          | Biaya                  |
|-------------------------|------------------------|
| Design Cost (DC)        | Rp 577.500,00          |
| Mastering Cost (MC)     | Rp 557.070,00          |
| Thermoforming Cost (TC) | Rp 41.966,72           |
| Overhead Cost (OC) 15%  | Rp 176.480,50          |
| Total RP Cost           | <b>Rp 1.353.017,22</b> |

Dari hasil pembulatan, total biaya RP menjadi **Rp 1.353.100,00**.

#### 4.6. Hasil dan Tanggapan dari CV Anugerah Mulia

Atas persetujuan dari *customer*, maka dibuatlah master cetakan serta cetakan coklat. Gambar 12 menunjukkan hasil proses permesinan master cetakan, sedangkan gambar 13 menunjukkan cetakan coklat yang terbuat dari plastik PVC.

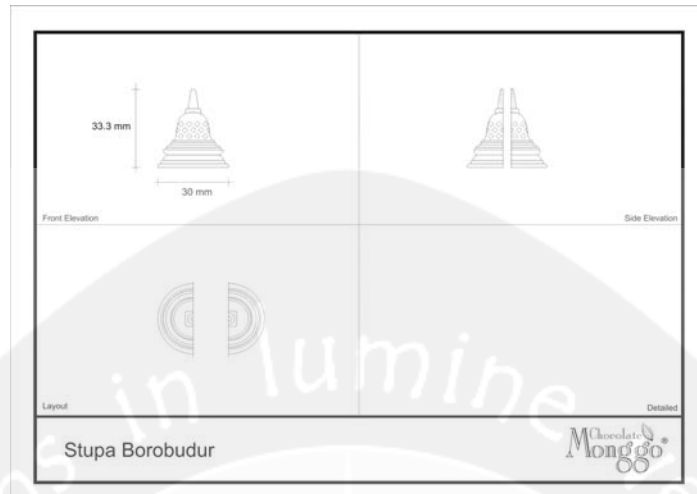


Gambar 12. Master Cetakan



Gambar 13. Cetakan Coklat

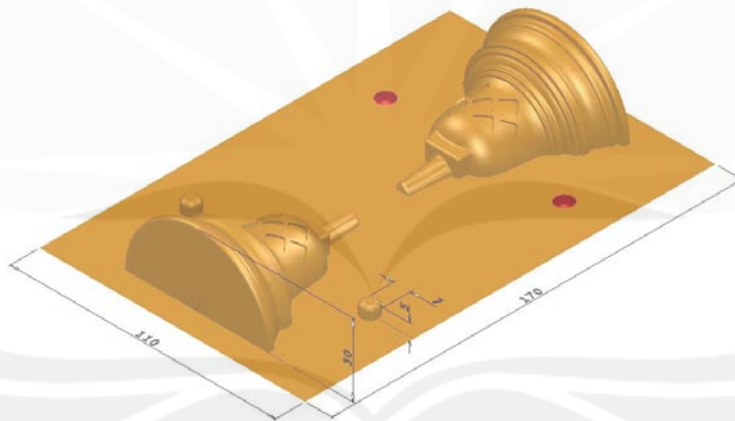
*Customer*, CV Anugerah Mulia, menilai hasil cetakan coklat yang dibuat sudah baik. Namun, karena kesalahan mereka pada saat membuat gambar 2D, maka mereka memberikan desain yang lain. Gambar 14 menunjukkan desain baru stupa Borobudur.



Gambar 14 Desain 2D Baru

#### 4.7. Pembuatan Cetakan Stupa Baru

Pembuatan model kedua dilakukan dengan langkah yang sama dengan model sebelumnya, dari pembuatan model CAD hingga pembuatan data CAM. CAD model kedua ditunjukkan oleh gambar 15 di bawah ini.



Gambar 15. Model CAD Stupa Borobudur Baru

#### 4.8. Analisa Biaya *Rapid Prototyping*

Biaya RP terdiri dari 4 komponen, yaitu: biaya desain (*Design Cost*), biaya pembuatan master cetakan (*Mastering Cost*), biaya thermoforming (*Thermoforming Cost*) dan biaya overhead (*Overhead Cost*)

##### a. Design Cost (DC)

Lama pembuatan desain dan perencanaan proses (CAD/CAM) adalah 11,25 jam. Oleh karena itu, biaya desain dihitung sebagai berikut:

$$11,25 \text{ jam} \times \text{Rp } 55.000/\text{jam} = \text{Rp } 618.750,00$$

**b. Mastering Cost (MC)**

Ukuran material untuk pembuatan master cetakan adalah 170 x 110 x 50 mm. Oleh karena itu, perhitungan biaya material adalah sebagai berikut:

$$(170 \times 110 \times 50) \text{ mm}^3 \times \frac{\text{Rp } 3.200.000}{(1500 \times 500 \times 50) \text{ mm}^3} = \text{Rp } 79.786,67$$

Dari hasil pembuatan CAM Data, perkiraan total waktu permesinan adalah 9,99 jam. Oleh karena itu, biaya permesinan diperkirakan sebesar:

$$8,6 \text{ jam} \times \text{Rp } 45.000/\text{jam} = \text{Rp } 387.000,00$$

Total biaya pembuatan master diperkirakan sebesar:

$$\text{Rp } 79.786,67 + \text{Rp } 387.000,00 = \text{Rp } 466.786,67$$

**3. Thermoforming Cost (TC)**

Dimensi lembaran plastic PVC yang dibutuhkan adalah 420 x 297 x 0.5 mm. Dibutuhkan 5 lembar dengan ukuran yang sama untuk proses thermoforming. Oleh karena itu, biaya material untuk proses thermoforming adalah sebesar:

$$5 \times (420 \times 297 \times 0,5) \text{ mm}^3 \times \frac{\text{Rp } 25.600}{(1000 \times 1000 \times 0,5) \text{ mm}^3} = \text{Rp } 15.966,72$$

Diperkirakan proses thermoforming membutuhkan waktu selama 2 jam. Oleh karena itu, biaya thermoforming menjadi:

$$2 \times (\text{Rp } 7.500 + \text{Rp } 5.500) = \text{Rp } 26.000,00$$

Oleh karena itu, biaya thermoforming menjadi:

$$\text{Rp } 15.966,72 + \text{Rp } 26.000,00 = \text{Rp } 41.966,72$$

**4. Overhead Cost (OC)**

Biaya overhead dihitung sebesar 15% dari total biaya di atas. Oleh karena itu biaya overhead menjadi:

$$15\% \times (\text{Rp } 618.750 + \text{Rp } 466.786,67 + \text{Rp } 41.966,72) = \text{Rp } 166.125,5$$

**5. Perkiraan Total Biaya Rapid Prototyping**

Tabel 2 Perkiraan Total Biaya Rapid Prototyping

| Komponen Biaya          | Biaya                  |
|-------------------------|------------------------|
| Design Cost (DC)        | Rp 618.750,00          |
| Mastering Cost (MC)     | Rp 466.786,67          |
| Thermoforming Cost (TC) | Rp 41.966,72           |
| Overhead Cost (OC) 15%  | Rp 166.125,50          |
| Total RP Cost           | <b>Rp 1.273.628,89</b> |

Dari hasil pembulatan, total biaya RP menjadi **Rp 1.273.700,00**



#### 4.9. Hasil dan Tanggapan CV Anugerah Mulia atas Desain Terakhir

Atas persetujuan dari *customer*, maka dibuatlah master cetakan serta cetakan coklat. Gambar 16 menunjukkan hasil proses permesinan master cetakan, sedangkan gambar 17 menunjukkan cetakan coklat yang terbuat dari plastik PVC.



Gambar 16. Master Cetakan Terbaru



Gambar 17. Cetakan Coklat dari Plastik PVC

CV Anugerah Mulia puas dengan hasil yang didapat. Selain itu mereka juga merasakan pelayanan yang positif karena UAJY berhasil menciptakan suatu cara komunikasi yang efektif sehingga *customer* bisa membuat perencanaan sekaligus keputusan yang tepat.

#### 4.10. Pembahasan

Sebagaimana disebutkan sebelumnya, teknologi *Rapid Prototyping* dan *Virtual Prototyping* menjadi sangat efektif untuk mempercepat proses pengembangan produk. Teknologi ini dapat meningkatkan kemampuan visualisasi selama fase awal desain dengan menggunakan model fisik yang dibuat secara cepat. Teknologi baru ini juga dapat mengurangi kesalahan. Jika kesalahan-kesalahan dapat diidentifikasi sebelum kesepakatan dibuat, maka biaya untuk memodifikasi suatu alat akan lebih mudah diantisipasi. Secara keseluruhan, ongkos dapat direduksi dan jumlah pekerja yang dilibatkan untuk membuat suatu model dan alat maupun model fisik, dapat ditekan.

Dalam penelitian ini, proses RP diawali dengan sebuah *virtual prototyping* yang dibangun berdasarkan model 2D dari *customer*. Dengan adanya teknologi CAD ini, model virtual 3D dapat dengan cepat dibangun. Selain itu, dengan adanya fitur analisa (*Analytical Tools*), desainer dapat lebih awal menganalisa kesalahan-kesalahan pada model virtual sebelum model fisik dibuat. Dari sudut pandang inilah, teknologi CAD menjadi alat yang sangat efektif dari segi biaya.

Keuntungan lain penggunaan *virtual prototyping* terlihat pada saat pembuatan data CAM menggunakan PowerMill. Perencanaan proses permesinan menjadi hal yang mudah dengan adanya fasilitas simulasi dan verifikasi. Dengan demikian, *engineer* menjadi lebih percaya diri dalam proses permesinan dan dapat memastikan bahwa tidak akan terjadi masalah selama proses permesinan. Selain itu, adanya proses ini sekaligus bisa memberikan perkiraan lama waktu permesinan dan ukuran material yang dibutuhkan.

Teknologi CAD/CAM membuat komunikasi antara *engineer*, *user* (UAJY) serta *customer* menjadi sangat mudah. Model CAD menampilkan segala informasi yang dibutuhkan oleh ketiga pihak terkait sehingga semua pihak dapat berada pada pandangan yang sama. Akibatnya, *customer* diberi kemudahan dalam menentukan apakah suatu model fisik perlu dibuat atau harus ada perubahan pada model virtual.

Proses RP menggunakan Roland MDX-40 pun menjadi sangat mudah karena adanya perencanaan yang matang. Dengan demikian, risiko kesalahan dapat dikurangi dan akibatnya, biaya pun menjadi lebih murah.

Cetakan coklat dari plastik PVC adalah kelanjutan dari hasil RP. Adanya perencanaan yang matang membuat pembuatan cetakan coklat menjadi sesuatu yang sangat mudah.

Dari hasil penelitian ini, sangat terlihat bagaimana proses RP sangat membantu untuk merespon kebutuhan *customer* secara mudah dan terencana dalam waktu yang relatif cepat.

## 5. Kesimpulan dan Saran

Dimensi akhir master cetakan adalah 170 x 110 x 35 mm dan volume stupa Borobudur yang dibuat adalah 5,75 mm<sup>3</sup>. Biaya RP cetakan coklat adalah sebesar Rp 1.273.700,00.

Dari hasil penelitian, terlihat bahwa *Necuron* atau *Ebalta* yang digunakan sebagai master cetakan tidaklah cocok untuk produksi massal (*mass production*) karena sifatnya yang tidak tahan terhadap panas yang dari mesin thermoforming. Material ini makin melengkung setelah melewati beberapa kali proses thermoforming. Oleh karena itu, baik apabila pada penelitian berikutnya, ditemukan material yang dapat menggantikan *Ebalta* untuk produksi massal.

## Daftar Pustaka

- \_\_\_\_\_, 2007, *Delcam PowerMill 8.0 Training Modul*, Birmingham: Delcam, Plc.
- \_\_\_\_\_, 2008, *Delcam PowerShape 8.2.14 Training Modul*, Birmingham: Delcam, Plc.
- Anggoro, P Wisnu., Hanandoko, Theodorus B., 2003, *Diktat Kuliah Proses Produksi 1*, Yogyakarta: FTI UAJY
- Burphy, Mark., 2002, *Rapid Prototyping, CAD/CAM and Human Factors*, Elsevier Journal of Automation in Construction, Vol. 11, page 313-333
- Cooper, Kenneth G., 2001, *Rapid Prototyping Technology: Selection and Application*, New York: Marcel Dekker, Inc.
- Degussa, 2001, *Extrusion and Thermoforming Of Polymer and Cyrolite*, Cyro Industries, USA
- Ferreira, Jose Carvalho., 2006, *Integration of VP/RP/RT/RE/RM for Rapid Product and Process Development*, Rapid Prototyping Journal, Vol.12, No.1, page 18
- Groover, Mikel P., 1996, *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems*, Prentice-Hall International Edition, USA
- Gruenwald, G., 1998, *Thermoforming; A Plastics Processing Guide*, Second Edition, New Holand: Technomic Publishing Company
- Incropera, Frank P., 2007, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, John Wiley and Son, USA
- Koc, Bahattin., Lee, Yuan-Shin., 2002, *Adaptive Ruled Layers Approximation of STL Models and Multiaxis Machining Applications for Rapid Prototyping*, SME Journal of Manufacturing Systems, Vol.21 No.3
- Liou, Frank W., 2008, *Rapid Prototyping and Engineering Applications*, Florida: Taylor and Francis Group
- Mujiarto, Iman, 2005, *Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif*, Semarang: AMNI
- Nugraha, Bayu Purwa., 2009, *Mesin Thermoforming untuk Cetakan Cokelat*. A Thesis in Industrial Engineering Program, Faculty of Industrial Technology, Universitas Atma Jaya Yogyakarta
- Pratt, M.J., Bhatt, A.D., Dutta, D., Lyons, K.W., Patil, L., Sriram, R.D., 2002, *Progress Towards an International Standard for Data Transfer in Rapid Prototyping and Layered Manufacturing*, Journal of Computer-Aided Design, Vol.34, page 1111-1121
- Ullman, David G., 1997, *The Mechanical Design Process*, 2<sup>nd</sup> ed., Singapore: McGraw-Hill Book Co
- Sokovic, M., Kopac, J., 2006, *RE (Reverse Engineering) as Necessary Phase by Rapid Product Development*, Elsevier Journal of Materials Processing Technology, Vol. 175, page 398-403
- Yean, Chow Kin., Kai, Chua Chee., and Feng Lin., 1998, *Creating Machinable Textures for CAD/CAM Systems*, Springer-Verlag International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.14, page 269-279

Yean, Chow Kin., Kai, Chua Chee., Ong, Terry., and Feng, Lin.,  
*Checking for Machinability on Surface Patches*, Springer-Verlag  
International Journal of Advanced Manufacturing Technology,  
Vol.14, page 806-814

[http://en.wikipedia.org/wiki/Computer\\_aided\\_manufacturing](http://en.wikipedia.org/wiki/Computer_aided_manufacturing), diakses pada 3  
Oktober 2010 pukul 09:00

[http://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided\\_manufacturing](http://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_manufacturing), diakses pada 3  
Oktober 2010 pukul 09:05

<http://en.wikipedia.org/wiki/Plastic>, diakses pada 4 Oktober 2010  
pukul 07:30

[http://en.wikipedia.org/wiki/High\\_impact\\_polystyrene](http://en.wikipedia.org/wiki/High_impact_polystyrene), diakses pada 4  
Oktober 2010 pukul 07:40

[http://en.wikipedia.org/wiki/Acrylonitrile\\_butadiene\\_styrene](http://en.wikipedia.org/wiki/Acrylonitrile_butadiene_styrene), diakses pada 4  
Oktober 2010 pukul 07:40

[http://en.wikipedia.org/wiki/Polyethylene\\_terephthalate](http://en.wikipedia.org/wiki/Polyethylene_terephthalate), diakses pada 4  
Oktober 2010 pukul 07:41

<http://en.wikipedia.org/wiki/Polyester>, diakses pada 4 Oktober 2010  
pukul 07:42

<http://en.wikipedia.org/wiki/Polyurethanes>, diakses pada 4 Oktober  
2010 pukul 07:45

<http://en.wikipedia.org/wiki/Polytetrafluoroethylene>, diakses pada 4  
Oktober 2010 pukul 07:45

<http://en.wikipedia.org/wiki/Polystyrene>, diakses pada 4 Oktober 2010  
pukul 07:50

[http://en.wikipedia.org/wiki/Polyvinyl\\_chloride](http://en.wikipedia.org/wiki/Polyvinyl_chloride), diakses pada 4  
Oktober 2010 pukul 07:52

<http://en.wikipedia.org/wiki/Polypropylene>, diakses pada 4 Oktober 2010  
pukul 07:52